

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ СПЛАВА ТН1

**Буренков О.А., Шароди М.А.**

*Руководитель – проф., к.т.н. Гусев Д.Е.*

ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского», 121552, г. Москва,  
ул. Оршанская, д.3, 4mtm.033@gmail.com

Известно, что сплавы на основе никелида титана относятся к числу материалов, функциональные и технологические свойства которых наиболее сильно подвержены влиянию химического и фазового состава, а также параметров структуры сплава, формирующейся на всех этапах производства от выплавки слитка до получения готового изделия.

Для исследования деформируемости сплава ТН1 (содержащий 53,8% Ni) вырезали цилиндрические образцы из прутков сплава ТН1 и производили осадку при температурах от 20 до 800°C с интервалом 50 - 100°C и усилием до 100кН со снятием кривых текучести, как показано на рис. 1

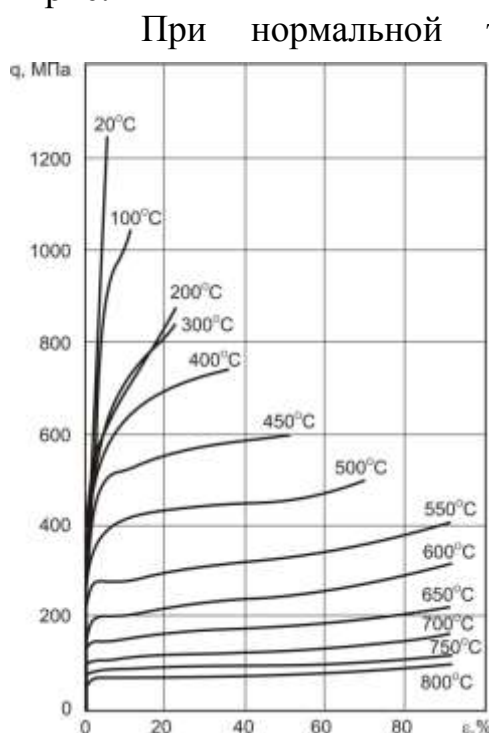


Рис. 1 Кривые текучести образцов сплава ТН1 при разных температурах

При нормальной температуре кривые текучести материала характеризуются низким значением предела текучести (200МПа) и значительным упрочнением при деформации. При напряжениях свыше 1200 МПа происходит разрушение образца. Повышение температуры деформации до 200 – 300°C вызывает рост предела текучести и снижение деформационного упрочнения.

Такое поведение материала связано с тем, что при температуре 20 – 100°C в структуре сплава преобладает мартенситная фаза и на первых этапах нагружения в сплаве ТН1 реализуется двойникование мартенсита. Формоизменение материала с такой структурой по дислокационному механизму затруднено, поэтому наблюдается значительное деформационное упрочнение образцов, см. рис. 1. При температурах 200-300°C структура сплава представлена В2-фазой, которая претерпевает мартенситное превращение под напряжением. В процессе

деформирования образуется полностью или частично мартенситная структура. После исчерпания мартенситного механизма формоизменение материала протекает дислокационным путем.

С увеличением температуры (200 - 300°C) испытаний механическая стабильность аустенита возрастает, поэтому повышаются напряжения мартенситного превращения (рост предела текучести до 250 МПа) и снижается деформационное упрочнение (уменьшается объемная доля образующегося мартенсита).

При температурах деформации в интервале 450-800°C кривые текучести принимают более обычный вид, при котором напряжения интенсивного течения материала незначительно превышают предел его текучести. Это свидетельствует о развитии в материале процессов динамической полигонизации и/или динамической рекристаллизации, снижающих деформационное упрочнение материала. Следует отметить, что уровень сопротивления деформации при температурах 400-500°C остается достаточно высоким по сравнению с более высокими температурами. Это может быть связано с тем, что при температурах вблизи 450°C происходит распад В2-фазы с образованием богатых никелем интерметаллидов типа  $Ti_3Ni_4$  и  $Ti_2Ni_3$ . Частицы этих интерметаллидов очень дисперсны и вызывают упрочнение материала. При температурах выше 500°C эти интерметаллиды растворяются в В2-фазе, что приводит к разупрочнению сплава ТН1. Кроме того, при этих температурах в материале протекают процессы динамической рекристаллизации, поэтому деформационного упрочнения сплава выше 550°C почти не наблюдается.

Металлографический и рентгеноструктурный анализ образцов, подвергнутых деформации при разных температурах, позволяют выделить четыре стадии влияния температуры деформации на структуру сплава: 1 - 20-200°C, 2 - 200-400°C, 3 - 400-500°C и 4 - 500-800°C.

На первой стадии (20-200°C) период решетки В2-фазы не изменяется, полуширина дифракционных максимумов довольно высокая, что говорит о искаженной структуре сплава. Зависимость отношения интенсивностей В2 и В19-фаз показывает, что в структуре сплава деформированного в этом интервале температур присутствует преимущественно мартенсит с большим количеством дефектов кристаллического строения, образовавшийся в процессе деформации, о чем свидетельствуют и металлографические исследования (рис. 2 а). Видно, что при температурах деформации 20 и 200°C мартенситные пластины имеют искривленный вид, что может быть связано с развитием процесса скольжения в образовавшихся при деформации кристаллах мартенсита.

На второй (200-400°C) стадии период решетки также не меняется, но начинают протекать процессы динамической полигонизации. В структуре сплава (рис. 2 б) доля мартенсита уменьшается, а его пластины не имеют искривлений. Границы зерен В2-фазы плохо выявляются при травлении. Можно предположить, что мартенсит образовался не в процессе деформации, а в процессе охлаждения.

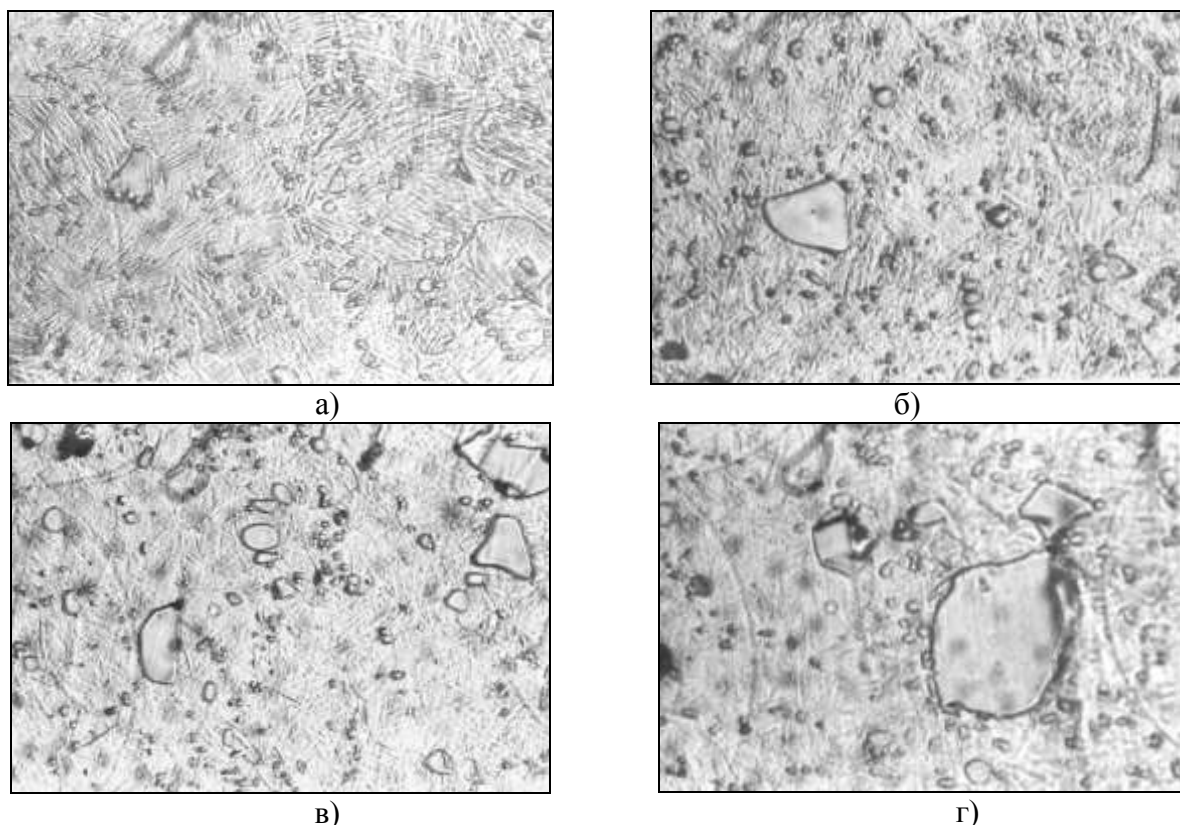


Рис.2 - Микроструктура сплава ТН1 при температурах деформации:  
а) 200°C, б) 300°C, в) 450°C, г) 550°C (x 1100)

На третьей стадии (400-500°C) происходит резкое увеличение периода решетки и полуширины дифракционных максимумов, при нормальной температуре, это можно связать с тем, что при деформации в сплаве может выделяться интерметаллид  $Ti_3Ni_4$  о чем свидетельствует увеличение периода решетки В2-фазы обедняющейся при этом никелем. Выделение интерметаллида препятствует процессу полигонизации, т.к. его частицы снижают подвижность дефектов кристаллического строения и при деформации образуется сильно искаженная структура. Об этом свидетельствует увеличение полуширины линии В2-фазы (рис. 2 в)

На четвертой стадии (500-800°C) период кристаллической решетки и полуширина дифракционных максимумов линии (110) В2-фазы уменьшаются. Мартенсит образуется в процессе охлаждения (рис. 2г). Богатые никелем интерметаллиды не выделяются и не препятствуют процессам динамической полигонизации и рекристаллизации. Структура до 600°C – полигонизованная, выше 600°C – рекристаллизованная. В целом структуру сплава, формирующуюся при деформации в данном температурном интервале, можно охарактеризовать как деформированную с высокой концентрацией дефектов кристаллического строения.

Данное исследование было проведено для разработки технологического процесса изготовления изделий сложной формы. Оно показало влияние температуры деформации на структуру сплава ТН1, были определены температуры протекания процессов динамической полигонизации и рекристаллизации В2-фазы.